

文章编号:1007-2934(2017)05-0053-03

波尔受迫振动下波尔摆稳定的实验判据

郑瑞华,姜泽辉,吴安彩,赵海发
(哈尔滨工业大学,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 给出波尔受迫振动下波尔摆稳定时的实验判据,给出受迫振动达到近似稳定振动时间估计值。讨论该实验所涉及的物理知识。

关 键 词: 受迫振动;稳态时间

中图分类号: O 321

文献标志码: A

DOI:10.14139/j.cnki.cn22-1228.2017.005.014

波尔共振实验是对简谐振动、阻尼振动和受迫振动等物理实验现象进行观察和测量的实验^[1-8]。在非稳定状态过程^[2-4],本文研究受迫振动下波尔摆从振动开始到波尔摆达到稳定振动状态时的时间。

1 理论与实验

在波尔振动实验^[1-2]的受迫振动中,其解为

$$\theta = \theta_0 \exp(-\beta t) \cos(\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} t + \varphi_0) + \theta_1 \cos(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

其中, ω_0 为波尔摆的固有频率, ω 为外加驱动简谐振动的频率, β 为阻尼系数, θ_0 为波尔摆初始振幅, θ_1 为受迫振动达到稳定状态时的波尔摆振幅,本文此处 ω 与 ω_0 相差不是太大,该式第一项是减幅运动。

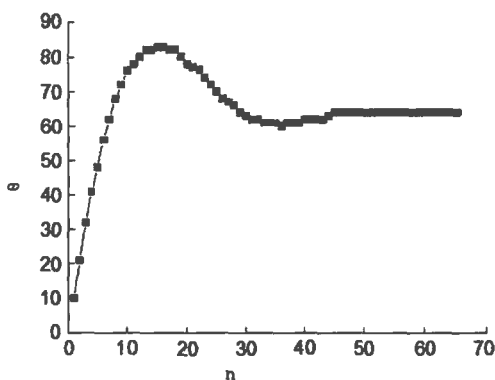


图1 受迫振动波尔摆振幅 θ 与摆动次数 n 的关系

如图1所示,受迫振动波尔摆振幅 θ 与波尔摆摆动次数 n 的关系图,现象如下,在外加受迫振动驱使下,波尔摆开始从静止开始摆动,振幅和频率开始变化,振幅增加,波尔摆的频率逐渐接近外加受迫频率。经过一定时间后波尔摆频率与外加受迫振动频率一致,振幅趋于稳定不变,此时波尔摆为稳定状态。这就是受迫振动达到的最终效果为等幅简谐振动。

$$\theta = \theta_1 \cos(\omega t + \varphi) \quad (2)$$

$$\theta_1 = M / (I * \sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\beta^2 \omega^2}) \quad (3)$$

此处 M 是外力矩, I 为转动惯量。

由于在振动过程中,波尔摆振动频率逐步接近外加驱动频率,所以每一次摆动所需时间在变化且逐步接近外加驱动周期,因此图1的横轴 n 不能代表时间变化,但是间接地反映时间增加变化(尤其波尔摆与外加驱动频率接近时,摆动一次所需时间大约为外加驱动周期)。

本文关心的是从受迫振动开始,波尔摆从振动开始到波尔摆达到稳定状态时的时间 t_0 ,原则上该段时间 t_0 趋于 ∞ 时,波尔摆就趋于稳定的等幅简谐振动。但在实验课上由于时间有限,需要给个判据判断波尔摆趋于近似稳定时刻,以便确定相应的相位和振幅等数据。

本文规定“波尔共振仪器显示受迫力周期和波尔摆周期相同,同时波尔摆振幅在5个周期以上显示不变时,认为波尔摆达到近似稳定状态。”这可作为波尔摆受迫振动实验近似稳定判据。

收稿日期:2017-06-02

之所以考虑波尔摆振幅在 5 个周期以上不变的原因是因为:仪器显示受迫力周期和波尔摆周期相同时只是代表仪器给出的受迫力周期和波尔摆周期前 4 位有效位相同,受迫力周期和波尔摆周期前 4 位有效位以后的有效位还可能不同,因此振幅还可能在变化(这与波尔共振仪有效位有关,本大学波尔共振仪有效位可以达到 4 位有效位,如果有更多有效位的仪器只要保证仪器显示受迫力周期和波尔摆周期相同就行),至于给出波尔摆振幅在 5 个周期以上不变为判据,是因为课堂时间有限问题(若时间允许亦可以增加更多周期如 7 个以上周期作为依据),当上述条件满足之后,波尔摆振幅基本趋于不变,再有微小的变化只能当做微小起伏,对实验结果影响不大,因为我们不可能等待无限长时间。

2 实验结果与讨论

要想公式(1)中第一项忽略不计,如下可大致估计达到平衡状态所需时间

$$\theta_0 \exp(-\beta t_0) \leq \theta_1 \times 0.0005 \quad (4)$$

上述 0.0005 考虑了公式(1)第一项变化不影响波尔摆振幅前 4 位有效位情形下对应的情况。在本文实验中。假定 $\theta_0 = 12^\circ$, $\theta_1 = 64^\circ$, β 为 0.053 2(由 $\ln\theta-t$ 曲线斜率决定),由上式可以估算 $t_0 = 111$ s 左右,与实验值 $nT = 60 \times 1.568$ s = 94 s 相差不大(n 为开始到判断稳定的摆动次数, T 可看做波尔摆固有周期和受迫振动周期的平均,本文图 1 波尔摆的固有周期为 1.583 s,受迫振动周期为 1.552 s),显然实验判断时刻稍早些。但从结果看可以认为近似平衡。

本文物理意义在于,波尔摆在外加受迫振动驱使下,波尔摆的频率达到与外加频率相同的时间不是一蹴而就,而是需要一段时间,而这段时间可看做非稳定状态过程,含有一些物理小知识可以讲解。

(1)在受迫振动频率和波尔摆固有频率相差不甚大情况下,例如偶尔一次的强地震振动则可以没有时间长的弱地震振动破坏力大。因为引起的最大振幅不同。如图 1 初始振幅远小于最后振幅。

(2)远离波尔摆固有频率的受迫振动,即使振动时间很长由于 θ_1 很小不影响周围环境。平时大地有许多包括地震引起的,汽车跑动引起的等振动可忽略不计。

(3)没有阻尼就不会有稳定状态,荡秋千就是受迫振动例子,实际秋千都有阻尼,人在上面做起伏运动就是受迫运动,从秋千荡起到稳定都需要时间,当秋千震荡频率与人起伏频率一致时,秋千做稳定周期震荡过程。阻尼系数越大,达到稳定所需时间越小^[2]。

(4)由公式(1)和公式(3)可以看到,外加受迫频率与波尔摆的固有频率不同只是影响最后振幅,不影响图 1 的变化趋势,实验也证实这一点此处不列数据讨论了;由公式 4 也可以看到,近似平衡时间 t_0 与波尔摆初始振幅 θ_0 ,受迫振动稳定状态时的波尔摆振幅 θ_1 以及阻尼系数 β 有关,假定 θ_0, β 不变,当外加驱动频率逐步接近波尔摆频率 $\sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$,波尔摆振幅 θ_1 变大,近似平衡时间 t_0 会变大,实验也证实这一点此处也不列数据讨论了。

3 结 论

本文给出波尔受迫振动下波尔摆近似稳定时的实验判据。给出波尔摆近似稳定时的理论依据,节省了实验时间。并表明试验中非平衡过程也有许多需要我们注意的问题。

参考文献:

- [1] 张改平,李智强,闫明宝.波尔共振实验中值得探讨的两个问题[J].大学物理实验,2016,29(4):18-20.
- [2] 朱华泽.用波尔共振仪研究受迫振动特性[J].大学物理实验,2011,24(3):57-60,物理实验,2011,24(3):57-60.
- [3] 李百宏,强蕊.用波尔共振仪研究混沌现象[J].大学物理实验,2016,29(2):17-20.
- [4] 董霖,王涵,朱洪波.波尔共振实验“异常现象”的研究[J].大学物理,2010,29(2):57-60.
- [5] 方恺,陈铭南.智能型波尔共振仪网络系统的设计[J].实验室研究与探索,2006,25(7):771-773.
- [6] 杜全忠,王鹏,王旭明,等.受迫振动的阻尼特性研究[J].实验室研究与探索,2015,34(11):14-17.

- [7] 王晓雄,马天平,王志兴,等.利用 Origin 处理波尔共振实验数据[J].大学物理实验,2010,23(2):66-68.
- [8] 全红娟,潘渊,朱婧,等.波尔共振仪实验的不确定度分析[J].大学物理实验,2014,27(5):100-102.

The Experimental Judge of Stabilization Time for Force Vibration Based on Pohl Resonator

ZHENG Rui-hua,JIANG Ze-hui,WU An-cai,ZHAO Hai-fa

(Harbin Institute of Technology,Heilongjiang Harbin 150001)

Abstract: The experimental judge of stable state for Force Vibration Based on Pohl Resonator was given in this text.The theoretical value of stabilization time for Force Vibration Based on Pohl Resonator was evaluated.Discussions during the period displayed some knowledge of physics.

Key words: forced vibration;stabilization time

(上接第 52 页)

- [5] 蒋骥,朱宏宇,周衍,等.液晶衍射现象的实验研究[J].物理实验,2011,31(10):44-46.
- [6] 邹艳.单缝衍射法测量金属线胀系数装置的研究[J].物理实验,2014,34(7):20-23.
- [7] 邱吉尔,王莹.激光衍射法测量液体表面波的波长并确定其属性[J].大学物理实验,2013,26(3):20-23.
- [8] 陈兰武,文红,马忠和,等.浅议筛网的网孔尺寸[J].技术交流,2013(4):11-17.
- [9] 曾育锋,谢春勇,等.基于双光栅成像的 RGB 模型色彩还原效果的研究[J].大学物理实验,2016,30(1):37-39.
- [10] 朱江转,罗锻斌.衍射光栅实验中平行光正入射条件的讨论[J].大学物理实验,2016,30(3):85-86.

The Expanding of Diffraction Experiment Using a Screen Mesh

WANG Jun*,FAN Jun-liu,CHEN Bao-hua,ZHU Ai-min,WANG Fan,WU Quan-ying

(Suzhou University of Science and Technology,Jiangsu Suzhou 215009)

Abstract: In order to make the optical diffraction experiment be more closer to real life and more practical,the screen mesh is used as a grating to design a diffraction experiment.The diffraction phenomenon of two-dimensional gratings can be obviously observed after the laser propagates the screen mesh,the different diffraction situations are discussed.In the designed experiment,the mesh size which is the key value of the screen can be calculated by measuring the diffraction angles using two schemes.

Key words: diffraction;screen mesh;diffraction angle;two-dimensional grating